



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Patentschrift
⑩ DE 41 35 991 C 1

⑤1 Int. Cl.⁵:
G 01 R 27/26
G 01 D 5/243
G 01 D 5/24

②1 Aktenzeichen: P 41 35 991.7-35
②2 Anmeldetag: 31. 10. 91
④3 Offenlegungstag: —
④5 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 17. 12. 92

DE 41 35 991 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦3 Patentinhaber:
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung eV, 8000 München, DE
⑦4 Vertreter:
Schoppe, F., Dipl.-Ing.Univ., Pat.-Anw., 8023 Pullach

⑥1 Zusatz zu: P 40 39 006.3
⑦2 Erfinder:
Wallrapp, Ludwig, Dipl.-Ing.; Seitzer, Dieter, Prof.,
8520 Erlangen, DE
⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:
DE-B.: TIETZE, SCHENK: »Halbleiter-Schaltungs-
technik«, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1989,
9. Aufl. S.925;
US-Firmenkatalog der Linear Technology Corp.:
»Linear Databook, 1990, S.11-23;

⑤4 Kapazitäts-Frequenz-Wandler mit gleichspannungsfreier Kapazitätsmessung

DE 41 35 991 C 1

Beschreibung

Die vorliegende Zusatzерfindung betrifft eine Weiterbildung eines Kapazitäts-Frequenz-Wandlers zum Erzeugen eines im wesentlichen rechteckförmigen Wandlerausgangssignales mit einer von der Kapazität eines zu messenden Kondensators abhängigen Pulswiederholfrequenz, gemäß dem Patent 40 39 006.

Aus dem Standardfachbuch Tietze-Schenk, Halbleiter-Schaltungstechnik, 9. Auflage, 1989, Seite 925 ist bereits ein Kapazitäts-Spannungs-Wandler bekannt. Um diesen Kapazitäts-Spannungs-Wandler zu einem Kapazitäts-Frequenz-Wandler zu erweitern, bedarf es eines zusätzlichen Spannungs-Frequenz-Wandlers. Die Ausgangsspannung des bekannten Kapazitäts-Spannungs-Wandlers ist von der Eingangsbezugsspannung abhängig, so daß Schwankungen der Eingangsbezugsspannung zu entsprechenden Meßfehlern führen. Streukapazitäten, die am Eingang des bekannten Kapazitäts-Spannungs-Wandlers parallel zu der zu messenden Kapazität nach Masse liegen, gehen in die Ausgangsspannung direkt ein. Das führt dazu, daß der bekannte Kapazitäts-Spannungs-Wandler nur für solche Anwendungsfälle bei hinnehmbar niedrigen Meßfehlern einsetzbar ist, bei denen auf Grund von kurzen Zuleitungen zu der zu messenden Kapazität nur niedrige Streukapazitäten auftreten oder bei denen die zu messende Kapazität einen hohen Wert hat.

Aus dem Datenbuch für Halbleiterschaltungen: Linear Databook 1990 der Firma Linear Technology Corporation, Seite 11 bis 23, rechte Abbildung oben ist ein Spannungs-Frequenz-Wandler bekannt, der eine geschaltete Kapazität zwischen dem Ausgang und dem invertierenden Eingang eines Operationsverstärkers aufweist, wobei der nicht-invertierende Eingang einerseits über einen Widerstand mit Masse und andererseits über eine weitere Kapazität mit dem Ausgang verbunden ist und wobei ferner der invertierende Eingang über den Emitter eines Transistors mit einer negativen Bezugsspannung verbunden ist, dessen Basis an dem gemeinsamen Knoten einer Reihenschaltung eines weiteren Widerstandes und eines weiteren Kondensators anliegt, wobei diese Reihenschaltung zwischen dem Ausgang des Operationsverstärkers und Masse liegt. Es ist zwar denkbar, bei einem derartigen Spannungs-Frequenz-Wandler die geschaltete Kapazität durch eine Kapazität zu ersetzen, deren Kapazitätswert zu bestimmen ist und somit bei fester Eingangsspannung diese Schaltung als Kapazitäts-Frequenz-Wandler einzusetzen. Jedoch wäre auch bei einer derartigen Abwandlung der bekannten Schaltung eine Streukapazität gegen Masse in Parallelschaltung zu der zu messenden Kapazität. Ferner wären zwei Bezugsspannungen erforderlich, deren eventuelle Variationen direkt in die Ausgangsfrequenz und somit in die erzielbare Meßgenauigkeit eingehen würden.

Bei der Kapazitäts-Frequenz-Wandlerschaltung nach dem Hauptpatent wird der bezüglich seiner Kapazität zu messende Kondensator mit einer Meßspannung beaufschlagt, die einen gewissen Gleichanteil aufweist. In einigen Anwendungsfällen ist dies unerwünscht.

Im Falle von kapazitiven Feuchtsensoren darf die Meßspannung keinen Gleichanteil über längere Zeit aufweisen, da dieser zur Zerstörung des Sensors führen würde.

Daher liegt der Zusatzерfindung die Aufgabe zugrunde, einen Kapazitäts-Frequenz-Wandler der eingangs genannten Art zu schaffen, bei dem einerseits Streukapazitäten insbesondere im Bereich der Zuleitungen der zu messenden Kapazität nur einen geringen Einfluß haben und bei dem andererseits eine von Gleichspannungsanteilen zumindest weitgehend befreite Messung erreicht wird.

Diese Aufgabe wird durch einen Kapazitäts-Frequenz-Wandler gemäß Patentanspruch 1 gelöst.

Bevorzugte Weiterbildungen des erfindungsgemäßen Kapazitäts-Frequenz-Wandlers sind in den Unteransprüchen angegeben.

Nachfolgend werden unter Bezugnahme auf die Zeichnungen bevorzugte Ausführungsbeispiele des erfindungsgemäßen Kapazitäts-Frequenz-Wandlers näher erläutert. Es zeigt

Fig. 1 ein erstes Ausführungsbeispiel des Kapazitäts-Frequenz-Wandlers nach dem Hauptpatent;

Fig. 2 ein zweites Ausführungsbeispiel des Kapazitäts-Frequenz-Wandlers nach dem Hauptpatent;

Fig. 3 ein drittes Ausführungsbeispiel des Kapazitäts-Frequenz-Wandlers nach dem Hauptpatent;

Fig. 4 ein Ausführungsbeispiel des Kapazitäts-Frequenz-Wandlers nach der Zusatzерfindung;

Fig. 5 eine zeitliche Darstellung der Signalverläufe innerhalb des erfindungsgemäßen Kapazitäts-Frequenz-Wandlers; und

Fig. 6 eine alternative Ausgestaltung des Kapazitäts-Frequenz-Wandlers nach der Zusatzерfindung.

Wie in Fig. 1 gezeigt ist, umfaßt der Kapazitäts-Frequenz-Wandler, der in seiner Gesamtheit mit dem Bezugszeichen 1 bezeichnet ist, einen ersten Umschalter S1, der mit einem ersten Pol eines bezüglich seiner Kapazität zu messenden Kondensators Cx verbunden ist und diesen in einem ersten Schaltzustand mit Masse verbindet oder in einem zweiten Schaltzustand, der in der Figur dargestellt ist, mit einer Betriebsspannung U_B verbindet. Der zweite Pol des bezüglich seiner Kapazität zu messenden Kondensators Cx ist mit einem zweiten Umschalter-S2 verbunden, der diesen in einem ersten Schaltzustand mit einem Knoten KN des Kapazitäts-Frequenz-Wandlers 1 oder in einem zweiten (hier dargestellten) Zustand mit Masse verbindet. Beide Pole bzw. Anschlüsse des bezüglich seiner Kapazität zu messenden Kondensators Cx weisen Streukapazitäten C_{S1}, C_{S2} gegen Masse auf. Bei den Streukapazitäten kann es sich beispielsweise um die Kapazitäten von Anschlußleitungen handeln, die insbesondere dann einen hohen Wert aufweisen können, wenn der Kondensator mit der zu messenden Kapazität Cx über eine weite Strecke von dem Kapazitäts-Frequenz-Wandler beabstandet ist und an diesen über Koaxialleitungen angeschlossen ist. Ein weiterer Kondensator C₁ liegt zwischen dem Knoten KN und Masse. Der Knoten KN ist an eine spannungsgesteuerte Stromquelle R1, R2, K2, R3, T angeschlossen, die den Knoten mit einem konstanten Strom beaufschlagt, wie dies nachfolgend noch erläutert werden wird.

Der Kapazitäts-Frequenz-Wandler 1 umfaßt ferner einen Komparator K1, dessen nicht-invertierender Eingang mit dem Knoten KN und dessen invertierender Eingang mit Masse verbunden ist. Der Ausgang dieses Komparators K1 bildet den Ausgang des Kapazitäts-Frequenz-Wandlers, welcher ein im wesentlichen rechteckförmiges Wandlerausgangssignal hat, dessen Frequenz f_{out} proportional zu der Kapazität des zu messenden

Kondensators ist.

Der Wandlerausgang A ist mit dem Eingang einer Pulserzeugungsschaltung P verbunden, die zum Erzeugen je eines Impulses von vorgegebener Dauer T bei Auftreten je einer fallenden oder steigenden Flanke des im wesentlichen rechteckförmigen Wandlerausgangssignales dient.

Bei der Pulserzeugungsschaltung P, die an sich im Stand der Technik bekannt ist, kann es sich entweder um eine analog aufgebaute oder digital aufgebaute Schaltung handeln. Bei vielen Anwendungsfällen des Kapazitäts-Frequenz-Wandlers wird es möglich sein, sich eines Taktsignales zu bedienen, dessen Taktfrequenz zur Ansteuerung einer digital aufgebauten Pulserzeugungsschaltung verwendet werden kann.

Der Ausgang der Pulserzeugungsschaltung dient dazu, den ersten Umschalter S1 sowie den zweiten Umschalter S2 in den ersten bzw. zweiten Schaltzustand zu bringen.

Die spannungsgesteuerte Stromquelle, die mit dem Knoten KN verbunden ist, umfaßt einen n-Kanal-Feldeffekttransistor T, dessen Sourcelektrode mit dem Knoten KN verbunden ist und dessen Drainelektrode über einen dritten Widerstand R3 mit der Betriebsspannung U_B verbunden ist. Die Drainelektrode des Feldeffekttransistors T ist mit dem invertierenden Eingang eines Operationsverstärkers K2 verbunden, dessen nicht-invertierender Eingang mit dem gemeinsamen Knoten eines durch zwei Widerstände R1, R2 gebildeten Spannungsteilers verbunden ist. Der Spannungsteiler ist einerseits gegen Masse und andererseits gegen die Betriebsspannung U_B geschaltet.

Der von der spannungsgesteuerten Stromquelle R1, R2, R3, T, K2 abgegebene Strom I_s kann folgendermaßen in Abhängigkeit von der Betriebsspannung U_B und von den Widerstandswerten des ersten bis dritten Widerstandes R1, R2, R3 ausgedrückt werden:

$$I_s = \frac{U_{R3}}{R3} = \frac{1}{R3} \left(U_B - \frac{R2}{R1 + R2} \cdot U_B \right); \quad (1)$$

$$I_s = \frac{U_B}{R^*}; \quad R^* = \frac{R3(R1 + R2)}{R1}; \quad (2)$$

Nachfolgend wird die Betriebsweise der oben beschriebenen Schaltung näher erläutert. Es sei angenommen, daß das Potential an dem weiteren Kondensator C_1 ansteigt und soeben das Bezugspotential des Komparators K1 in Richtung auf die Betriebsspannung U_B ansteigend durchläuft. Der Komparator K1 schaltet, woraufhin die Pulserzeugungsschaltung P während einer vorgegebenen Zeitdauer T die beiden Umschalter S1, S2 in den zweiten Schaltzustand, welcher in Fig. 1 dargestellt ist, setzt. In diesem Schaltzustand wird der bezüglich seiner Kapazität zu messende Kondensator C_x auf die Betriebsspannung U_B aufgeladen. Nach Ablauf dieser Zeit nehmen die beiden Umschalter S1, S2 den ersten Schaltzustand ein, welcher entgegengesetzt zu dem in Fig. 1 gezeigten Schaltzustand ist. In diesem Schaltzustand gibt der zu messende Kondensator C_x seine Ladung Q an den weiteren Kondensator C_1 ab, so daß dessen Potential in die der Betriebsspannung entgegengesetzten Spannungsrichtung springt, wodurch der Komparator K1 wieder in seine Ausgangsstellung zurückfällt, woraufhin der weitere Kondensator C_1 und der bezüglich seiner Kapazität zu messende Kondensator C_x über die Stromquelleneinrichtung T, R1 bis R3, K2 in Richtung auf die Betriebsspannung U_B hin entladen werden. Sobald das Potential am Knoten KN das Bezugspotential des Komparators K1 in Richtung auf die Betriebsspannung U_B hin durchläuft, wiederholt sich der oben beschriebene Vorgang.

Die Ausgangsfrequenz der Schaltung ergibt sich aus der Schwingungsbedingung für die Schaltung, die wiederum erfordert, daß die der Stromquelleneinrichtung T, R1, R2, R3, K2 zugeführte Ladung derjenigen Ladung gleicht, die dem Knotenpunkt KN über den bezüglich seiner Kapazität zu messenden Kondensator C_x zugeführt wird. Hieraus ergibt sich folgende Gleichung:

$$C_x \cdot U_B = \frac{U_B}{R^*} \cdot \frac{1}{f_{out}} \quad (3)$$

Wie man erkennt, fällt bei diesem Zusammenhang die Abhängigkeit von der Betriebsspannung U_B heraus, so daß folgende Gleichung für die Ausgangsfrequenz gilt:

$$f_{out} = \frac{1}{R^* \cdot C_x} \quad (4)$$

Die nachfolgende Betrachtung wird zeigen, daß auch die Einflüsse von Streukapazitäten zumindest weitgehend herausfallen.

Soweit die erste Streukapazität C_{S1} ist, wird diese über den ersten Umschalter S1 entweder auf die Betriebsspannung U_B geladen oder auf das Bezugspotential entladen. Unter den üblicherweise erfüllten Voraussetzung, daß der Durchgangswiderstand des ersten Umschalters S1 entsprechend niedrig ist, wird der bezüglich seiner Kapazität C_x zu messende Kondensator innerhalb der Impulsbreite T, die von der Pulserzeugungsschaltung P festgelegt wird, trotz der ersten Streukapazität C_{S1} auf die Betriebsspannung U_B aufgeladen. Damit hat die erste Streukapazität keinen Einfluß auf die Messung des bezüglich seiner Kapazität zu messenden Kondensators C_x .

Soweit die zweite Streukapazität C_{S2} betroffen ist, so wird diese mit dem weiteren Kondensator C_1 von dem bezüglich seiner Kapazität C_x zu messenden Kondensator einerseits geladen und andererseits über den wirksa-

men Widerstand R^* der Stromquelleneinrichtung entladen. Solange sichergestellt ist, daß der Komparator K1 schaltet, sobald die Spannung an dem Knoten KN das Bezugspotential durchläuft, ist die zweite Streukapazität C_{S2} zum Schaltzeitpunkt vollständig entladen, so daß sie gleichfalls keinen Einfluß mehr auf die Bestimmung des Kapazitätswertes des zu messenden Kondensators C_X hat.

Aus diesem Grunde kann bei dem Kapazitäts-Frequenz-Wandler 1 der bezüglich seines Kapazitätswertes zu messende Kondensator C_X weit vom Meßort entfernt angeordnet sein. Insbesondere ist es möglich, den Anschluß dieses Kondensators über Koaxialkabel vorzunehmen, deren Abschirmung auf Bezugspotential liegt und deren Innenleiter den bezüglich seiner Kapazität zu messenden Kondensator C_X und den zweiten Umschalter S2 verbindet.

Fig. 2 zeigt eine vereinfachte Ausführungsform der in Fig. 1 gezeigten Schaltung, derer man sich bedienen kann, wenn man lediglich die Kapazitätswerte von kleinen Kondensatoren C_X bestimmen will. In diesem Fall wird die Stromquelleneinrichtung gemäß Fig. 1 durch einen Widerstand R^* ersetzt. Voraussetzung hierfür ist, daß die Kapazität des weiteren Kondensators C_1 sehr viel größer ist als diejenige des zu messenden Kondensators C_X .

Falls die letztgenannte Bedingung erfüllt ist, ist die maximale Spannung $U_{CI \max}$ nach Parallelschaltung des zu messenden Kondensators C_X und des weiteren Kondensators C_1 sehr viel kleiner als die Betriebsspannung U_B . Die an dem weiteren Kondensator C_1 maximal auftretende Spannung läßt sich daher folgendermaßen ausdrücken:

$$U_{CI \max} = \frac{C_X}{C_X + C_1} \cdot U_B \quad (5)$$

Die mittlere Entladespannung $U_{CI \text{ mittel}}$ an dem weiteren Kondensator C_1 kann folgendermaßen ausgedrückt werden:

$$U_{CI \text{ mittel}} \approx \frac{1}{2} \cdot \frac{C_X}{C_X + C_1} \cdot U_B \quad (6)$$

Der über eine Periode gemittelte Strom $I_R \text{ mittel}$ durch den Widerstand R^* kann folgendermaßen ausgedrückt werden:

$$I_R \text{ mittel} = \frac{U_B + U_{CI \text{ mittel}}}{R^*} \approx \frac{U_B}{R^*} \left(1 + \frac{C_X}{2(C_X + C_1)} \right) \quad (7)$$

Aus der siebten Gleichung ist es ersichtlich, daß für Kapazitätswerte des weiteren Kondensators C_1 , die viel größer als der Kapazitätswert des zu messenden Kondensators sind, folgende Gleichung gilt:

$$f_{\text{out}} \approx \frac{1}{R^* \cdot C_X} \quad (8)$$

Obwohl die obige Gleichung für besonders hohe Werte der Kapazität des weiteren Kondensators C_1 besonders gut erfüllt wird, ist es dennoch nicht möglich, beliebig hohe Kapazitätswerte des weiteren Kondensators C_1 zu wählen. Die Dimensionierung des weiteren Kondensators C_1 muß unter Berücksichtigung der Eigenschaften des Komparators K1 erfolgen, der als reale Schaltung für abnehmende Eingangsspannungsänderungen zunehmende Schaltzeiten für das Umschalten des Ausgangssignales zeigt.

Unter Berücksichtigung dieser Eigenschaften des Komparators K1 wird man jedoch bemüht sein, den Kapazitätswert des weiteren Kondensators C_1 so groß als möglich zu wählen, um auch eventuelle parasitäre Ströme, die zum Bezugspotential hin abfließen, zu verringern. In erster Näherung können diese folgendermaßen ausgedrückt werden:

$$I_{\text{parasitär}} = \frac{U_{CI \text{ mittel}}}{R_{\text{parasitär}}} \approx \frac{U_B}{R_{\text{parasitär}}} \cdot \frac{C_X}{2(C_X + C_1)} \quad (9)$$

Hieraus ergibt sich, daß die Einflüsse parasitärer Widerstände mit ansteigendem Kapazitätswert des weiteren Kondensators C_1 abnehmen.

Bei geeignet hoher Wahl des Kapazitätswertes des weiteren Kondensators C_1 ermöglicht somit der erfindungsgemäße Kapazitäts-Frequenz-Wandler 1 die Messung von Kapazitäten C_X mit schlechter Güte, wie diese z. B. bei kapazitiven Feuchtesensoren der Fall ist.

Das Ersatzschaltbild eines Kondensators schlechter Güte entspricht einem idealen Kondensator mit parallel geschaltetem Widerstand. Dieser Widerstand $R_{\text{parasitär}}$ ist zum Bezugspotential hin wirksam, solange während der Entladephase der erfindungsgemäßen Kapazitäts-Frequenz-Wandlerschaltung der bezüglich seiner Kapazität zu messende Kondensator C_X parallel zu dem weiteren Kondensator C_1 geschaltet ist.

Die Schaltung gemäß Fig. 2 ist verglichen mit der Schaltung nach Fig. 1 dahingehend vorteilhafter, daß sie

einfacher, billiger und temperaturstabiler ist, bezüglich der Alterung stabiler ist und breitbandiger arbeitet.

Die in Fig. 2 gezeigte Schaltung ist andererseits gegenüber der in Fig. 1 gezeigten Schaltung dahingehend nachteilig, daß die Ausgangsfrequenz eine geringe Abhängigkeit von der Betriebsspannung U_B aufweist, da der Kapazitätswert des weiteren Kondensators C_1 nicht unendlich groß gewählt werden kann. Bei Verwendung eines einfachen Spannungsreglers für die Betriebsspannung U_B kann jedoch die Ausgangsfrequenz als allein von dem zu messenden Kapazitätswert C_X abhängig angesehen werden.

Ferner hat die Schaltung gemäß Fig. 2 eine gewisse Nicht-Linearität der Ausgangsfrequenz in Abhängigkeit vom Kapazitätswert des zu messenden Kondensators C_X sowie dem Kapazitätswert des weiteren Kondensators C_1 , wie dies bereits beschrieben wurde. Falls das durch die Schaltung erzielte Ausmaß an Linearität unzureichend ist, kann die Schaltung durch eine Eichung gemäß der obigen Berechnung von Linearitätsfehlern befreit werden.

Die in Fig. 3 gezeigte Schaltung stimmt mit Ausnahme der nachfolgend erläuterten Abweichungen mit der Schaltung gemäß Fig. 2 überein. Jedoch dient diese zur Messung der Kapazität von einer Mehrzahl N von zu messenden Kondensatoren $C_{X1}, C_{X2}, \dots, C_{XN}$. Eine entsprechende Mehrzahl N von ersten Schaltern S_{11}, \dots, S_{1N} ist je einem der zu messenden Kondensatoren C_{X1}, \dots, C_{XN} zugeordnet. Zwischen dem zweiten Umschalter und dem anderen Pol eines jeden der zu messenden Kondensatoren C_{X1}, \dots, C_{XN} liegt jeweils ein Schalter aus einer entsprechenden Mehrzahl N von dritten Schaltern S_{31}, \dots, S_{3N} .

Eine Schaltersteuerung $SS1, SS2$, welche von einem Schalteingang SE zur Auswahl des zu messenden Kondensators C_{X1}, \dots, C_{XN} angesteuert wird, aktiviert einen der ersten Umschalter S_{11}, \dots, S_{1N} in Abhängigkeit vom Ausgangssignal der Pulserzeugungsschaltung P und schaltet die übrigen ersten Umschalter in ihren ersten Schaltzustand. Ferner schließt die Schaltersteuerung den entsprechenden dritten Schalter S_{31}, \dots, S_{3N} und öffnet alle übrigen der dritten Schalter S_{31}, \dots, S_{3N} .

Soweit nur Kapazitäten C_{X1}, \dots, C_{XN} mit hoher Güte gemessen werden, können die dritten Schalter S_{31}, \dots, S_{3N} entfallen, da die nicht interessierenden Kapazitäten bezüglich der zu messenden Kapazität lediglich als Streukapazitäten wirken, die nicht in die Ausgangsspannung eingehen.

Soweit nicht nur Kondensatoren mit hoher Güte, sondern auch solche mit schlechter Güte gemessen werden sollen, ist es vorteilhaft, von den dritten Schaltern S_{31}, \dots, S_{3N} Gebrauch zu machen, da sie das Fließen parasitärer Ströme über die nicht zu messenden Kapazitäten C_{X1}, \dots, C_{XN} verhindern.

Fig. 4 zeigt eine Abwandlung des in Fig. 2 gezeigten Kapazitäts-Frequenz-Wandlers, wobei die Ausgestaltung nach Fig. 4 zur gleichspannungs-freien Messung geeignet ist. Diejenigen Schaltungsteile, die mit gleichen Bezugszeichen bezeichnet sind, stimmen mit der Schaltung gemäß Fig. 2 überein, so daß auf deren erneute Erläuterung verzichtet werden kann.

Wie in Fig. 4 gezeigt ist, ist der erste Umschalter S_1 in seinem in der Fig. 4 gezeigten zweiten Schaltzustand nicht direkt mit der Betriebsspannung verbunden, wie dies bei der Ausführungsform gemäß Fig. 2 der Fall ist, sondern mit einer Schalteinheit S_B gekoppelt. Gleichfalls ist der von dem weiteren Kondensator C_1 abgewandte Anschluß des Widerstandes R^* , der die Stromquelleneinrichtung bildet, ebenfalls nicht mit der Betriebsspannung U_B verbunden, sondern ebenfalls an die Schalteinheit S_B angeschlossen. Wie gezeigt ist, verbindet die Schalteinheit S_B somit einen Kontakt des ersten Umschalters S_1 sowie den dem weiteren Kondensator C_1 abgewandten Anschluß des Widerstandes R^* in ihrem ersten Schaltzustand mit einem zweiten Potential, das die Betriebsspannung sein kann, und in ihrem zweiten Schaltzustand mit einem zu dem zweiten Potential inversen Potential, das die inverse Betriebsspannung sein kann. Die inverse Betriebsspannung kann aus der Betriebsspannung durch Verwendung eines Inverters gewonnen werden. Der Ausgang des Kapazitäts-Frequenz-Wandlers wird im Gegensatz zu der Ausführungsform gemäß Fig. 2 nicht durch den Komparatorausgang gebildet, sondern durch einen weiteren Steuerausgang der Pulserzeugungsschaltung P , deren Funktion später unter Bezugnahme auf Fig. 5 näher erläutert wird. Die Funktionsweise der in Fig. 4 gezeigten Schaltung sowie die Funktionsweise der Pulserzeugungsschaltung P gemäß Fig. 4 wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Fig. 5a bis 5e näher erläutert. Zum Zeitpunkt t_1 wechselt das Ausgangssignal des Komparators K_1 sein Potential, wie dies in Fig. 5b gezeigt ist. Dies löst folgende Vorgänge aus:

— Die Einflußnahme des Komparatorausgangssignales auf die Impulserzeugungsschaltung P wird für die Zeitspanne $t_{21} - t_1$ gesperrt. Es beginnt die Integrationszeitdauer Δt_1 . Die Schalteinheit S_B schaltet die dem ersten Schalter sowie dem Widerstand R^* zugeführte Betriebsspannung auf $+U_B$ um.

— Der erste und zweite Umschalter S_1, S_2 werden in ihre in Fig. 4 gezeigte Stellung umgeschaltet, welche dem zweiten Schaltzustand dieser Umschalter entspricht. Hierdurch wird ein Laden des Kondensators C_X an der Betriebsspannung U_B bewirkt.

Innerhalb der Zeitspanne Δt_1 wird der Kondensator C_X in der in Fig. 4 gezeigten Schalterstellung auf $+U_B$ geladen. Ebenfalls wird der weitere Kondensator C_1 über den Widerstand R^* geladen, wie dies in Fig. 5a gezeigt ist.

Wenn die innerhalb der Pulserzeugungsschaltung P festgelegte Zeitdauer Δt_1 abgelaufen ist, werden die Umschalter S_1, S_2 in ihren ersten Schaltzustand umgeschaltet, wodurch die Kapazität C_X zu dem weiteren Kondensator C_1 parallel geschaltet wird. Dadurch springt die Spannung an dem weiteren Kondensator C_1 in das Negative, wie dies in Fig. 5a gezeigt ist.

Innerhalb der Zeitdauer Δt_2 werden die Kapazitäten C_1 und C_X bis zu dem Bezugspotential Masse über den Widerstand R^* geladen.

Innerhalb der in der Pulserzeugungsschaltung P festgelegten Zeitspanne $t_{21} - t_1$ hat das Komparatorausgangssignal keinen Einfluß auf die Abläufe innerhalb der Schaltung. Die Zeitspanne ist so bemessen, daß nach dem Zeitpunkt t_2 der Komparatorausgang (siehe Fig. 5b) genügend Zeit hat, um sicher auf dem niedrigen

Potential zu sein.

Nach dem Zeitpunkt t_2 wird die Komparatorausgangsspannung zur Steuerung der Pulserzeugungsschaltung P wieder freigegeben.

Zum Zeitpunkt t_3 schaltet der Komparatorausgang. Hierdurch werden folgende Vorgänge ausgelöst:

- Die Einflußnahme des Komparatorausgangssignales wird während der Zeitspanne $(t_4 - t_3)$ gesperrt. (Siehe Schraffur in Fig. 5c).
- Die Schalteinheit S_B schaltet in ihrem zweiten Schaltzustand um, d. h. sie schaltet auf die negative Betriebsspannung U_B .
- Die Umschalter S_1, S_2 werden in ihren anderen Schaltzustand geschaltet, um den Kondensator C_X auf den Wert $-U_B$ zu laden. Der Spannungsverlauf zum Ansteuern der Umschalter S_1, S_2 ist in Fig. 5d dargestellt.

Hierbei beginnt die Zeitspanne Δt_3 .

Während der Zeitspanne Δt_3 wird der Kondensator C_X an $-U_B$ geladen. Während dieser Zeitspanne wird der weitere Kondensator C_1 über den Widerstand R^* in Richtung auf die negative Betriebsspannung $-U_B$ entladen.

Die Zeitdauer Δt_3 gleicht der Zeitdauer Δt_1 , damit die an dem Kondensator C_X anliegende Meßspannung im zeitlichen Mittel zu Null wird, falls die Bedingung erfüllt ist, daß die an die Schalteinheit anliegende positive bzw. invertierte Betriebsspannung U_B den gleichen Absolutwert haben.

Zum Zeitpunkt t_4 wird die Kapazität C_X über die beiden Umschalter S_1, S_2 parallel zu der weiteren Kapazität C_1 geschaltet. Dadurch springt die Spannung an dem weiteren Kondensator C_1 in das Positive.

Während der Zeitdauer Δt_4 werden die beiden Kapazitäten C_1 und C_X über dem Widerstand R^* an die negative Betriebsspannung $-U_B$ entladen.

Zum Zeitpunkt t_4 wird die Komparatorausgangsspannung zur Steuerung der Pulserzeugungsschaltung P nach Ablauf der Zeitspanne $(t_4 - t_3)$ wieder freigegeben.

Der Zeitpunkt t_5 entspricht dem Zeitpunkt t_1 . Hier durchläuft das Potential an dem weiteren Kondensator C_1 das Bezugspotential, so daß der Komparator K1 erneut schaltet und die zu dem Zeitpunkt t_1 beschriebenen Vorgänge auslöst.

Nachfolgend wird die Ausgangsfrequenz (siehe Fig. 5e) der beschriebenen Schaltung abgeleitet.

Es wird davon ausgegangen, daß die zu messende Kapazität C_X viel kleiner als die Kapazität des weiteren Kondensators C_1 ist, womit in Näherung davon ausgegangen werden kann, daß der weitere Kondensator C_1 über R^* mit einem konstanten Strom entladen und geladen wird.

Für die Zeitdauer $t_1 + \Delta t_2 = T_1$ gilt somit folgender Zusammenhang:

$$T_1 = \frac{Q_X}{I_{R^*}} = \frac{C_X \cdot (+U_B)}{I_{R^*}} \quad (10)$$

Es gilt:

$$I_{R^*} = \frac{+U_B}{R^*} \quad (11)$$

Hieraus folgt:

$$T_1 = C_X \cdot R^* \quad (12)$$

Für die Zeitdauer $\Delta t_3 + \Delta t_4 = T_2$ gilt:

$$T_2 = \frac{Q_X}{I_{R^*}} = \frac{C_X (-U_B)}{I_{R^*}} \quad (13)$$

Mit

$$I_{R^*} = \frac{+U_B}{R^*}$$

folgt:

$$T_2 = C_X \cdot R^* \quad (14)$$

damit errechnet sich die Ausgangsfrequenz zu

$$f = \frac{1}{2 \cdot R^* \cdot C_X} \quad (15)$$

Fig. 6 zeigt eine der Fig. 3 entsprechende Kapazitäts-Frequenz-Wandlerschaltung mit einer Vielzahl von zu messenden Kondensatoren. Wie ersichtlich ist, kann auch bei dieser Schaltung eine gleichspannungs-freie Messung nach dem in Fig. 4 gezeigten Prinzip herbeigeführt werden, indem jeweils ein Pol der ersten Umschalter $S1_1, \dots, S1_N$ mit der Schalteinheit S_B verbunden ist, an die auch der die Stromquelleneinrichtung bildende Widerstand R^* angeschlossen ist, wobei auch hier die Schaltungseinheit sowohl mit der positiven als auch mit der negativen Betriebsspannung $U_B, -U_B$ beaufschlagt ist und von der Pulserzeugungsschaltung alternierend umgeschaltet wird.

Patentansprüche

1. Kapazitäts-Frequenz-Wandler zum Erzeugen eines im wesentlichen rechteckförmigen Wandlerausgangssignales mit einer von der Kapazität eines zu messenden Kondensators abhängigen Pulswiederholfrequenz, mit:

- einem ersten Umschalter ($S1$), mit dem ein Pol des Kondensators (C_X) in einem ersten Schaltzustand gegen ein erstes Potential schaltbar ist,
- einem zweiten Umschalter ($S2$), mit dem der andere Pol des Kondensators (C_X) entweder in einem ersten Schaltzustand mit einem Knoten (KN) verbindbar oder in einem zweiten Schaltzustand gegen ein drittes Potential schaltbar ist,
- einem weiteren Kondensator (C_I), der einerseits mit dem Knoten (KN) und andererseits mit einem vierten Potential verbunden ist,
- einer mit dem Knoten (KN) verbundenen Stromquelleneinrichtung ($R^*, R1, R2, R3, K2, T$),
- einem Komparator ($K1$), dessen erster Eingang mit dem Knoten (KN) und dessen zweiter Eingang mit einem fünften Potential verbunden sind, und
- einer an den Ausgang des Komparators ($K1$) angeschlossenen Pulserzeugungsschaltung (P) zum Erzeugen je eines Pulses von vorgegebener Dauer (T) bei Auftreten einer Flanke des Komparatorausgangssignals, deren Ausgang mit den den Schaltzustand steuernden Eingängen des ersten und zweiten Umschalters ($S1, S2$) verbunden ist, nach Patent Nr. 40 39 006,

dadurch gekennzeichnet,

- daß der Ausgang der Pulserzeugungsschaltung (P) das Wandlerausgangssignal liefert,
- daß eine Schalteinheit (S_B) vorgesehen ist, die mit dem ersten Umschalter ($S1$) verbunden ist und in dem zweiten Schaltzustand des ersten Umschalters ($S1$) den ihr zugewandten Pol des Kondensators (C_X) in ihrem ersten Schaltzustand mit einem zweiten Potential und in ihrem zweiten Schaltzustand mit einem zu dem zweiten Potential inversen Potential beaufschlagt, und
- daß die Schalteinheit (S_B) den von der Stromquelleneinrichtung ($R^*, R1, R2, R3, K2, T$) erzeugten Strom dem Knoten (KN) in ihrem ersten Schaltzustand in positiver Richtung und in ihrem zweiten Schaltzustand in negativer Richtung zuführt.

2. Kapazitäts-Frequenz-Wandler nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das erste, dritte, vierte und fünfte Potential gleich dem Bezugspotential des Kapazitäts-Frequenz-Wandlers ist.

3. Kapazitäts-Frequenz-Wandler nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Stromquelleneinrichtung durch einen zwischen der Schalteinheit (S_B) und dem Knoten (KN) geschalteten Widerstand (R^*) gebildet ist.

4. Kapazitäts-Frequenz-Wandler nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß eine Mehrzahl (N) von bezüglich ihrer Kapazität zu messenden Kondensatoren (C_{X1}, \dots, C_{XN}) vorgesehen sind,

daß eine entsprechende Mehrzahl (N) von ersten Umschaltern ($S1_1, \dots, S1_N$) mit den Kondensatoren (C_{X1}, \dots, C_{XN}) verbunden sind,

daß eine entsprechende Mehrzahl (N) von dritten Schaltern ($S3_1, \dots, S3_N$) zwischen den Kondensatoren (C_{X1}, \dots, C_{XN}) und dem zweiten Umschalter ($S2$) geschaltet sind,

daß eine Schaltersteuerung ($SS1, SS2$) einen der ersten Umschalter ($S1_1, \dots, S1_N$) in Abhängigkeit von dem Ausgangssignal der Pulserzeugungsschaltung (P) aktiviert und die übrigen der ersten Umschalter in den ersten Schaltzustand schaltet und den entsprechenden dritten Schalter ($S3_1, \dots, S3_N$) schließt sowie die übrigen dritten Schalter öffnet, und

daß die Schalteinheit ausgangseitig mit je einem der Kontakte eines jeden ersten Umschalters ($S1_1, \dots, S1_N$) verbunden ist.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

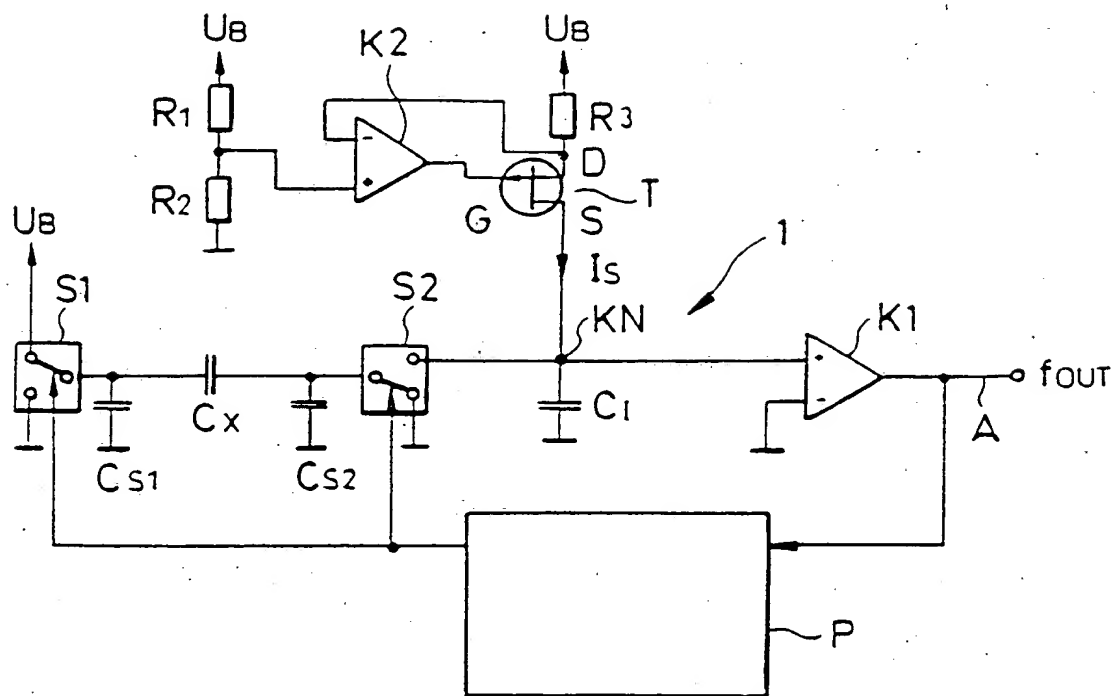


FIG. 1

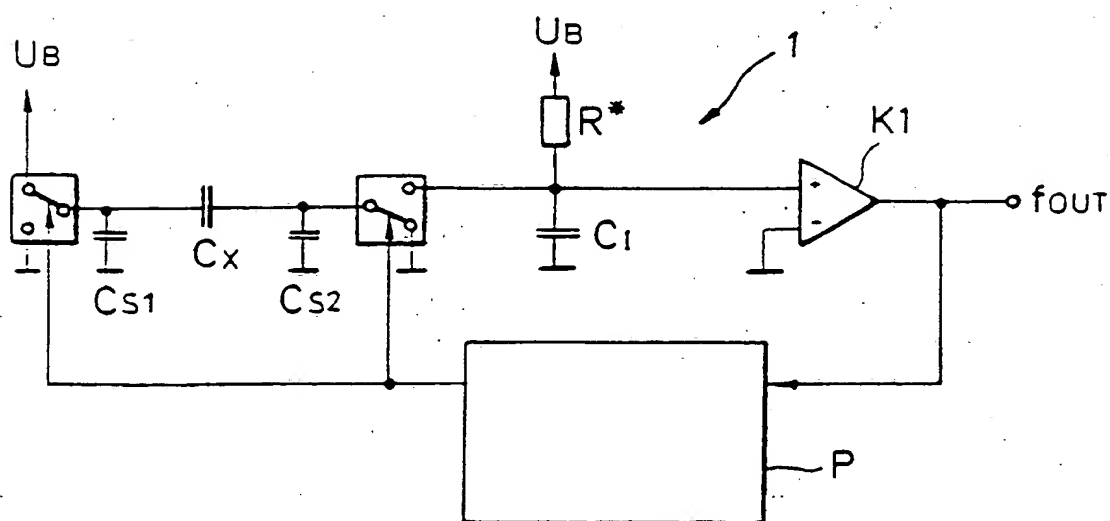


FIG. 2

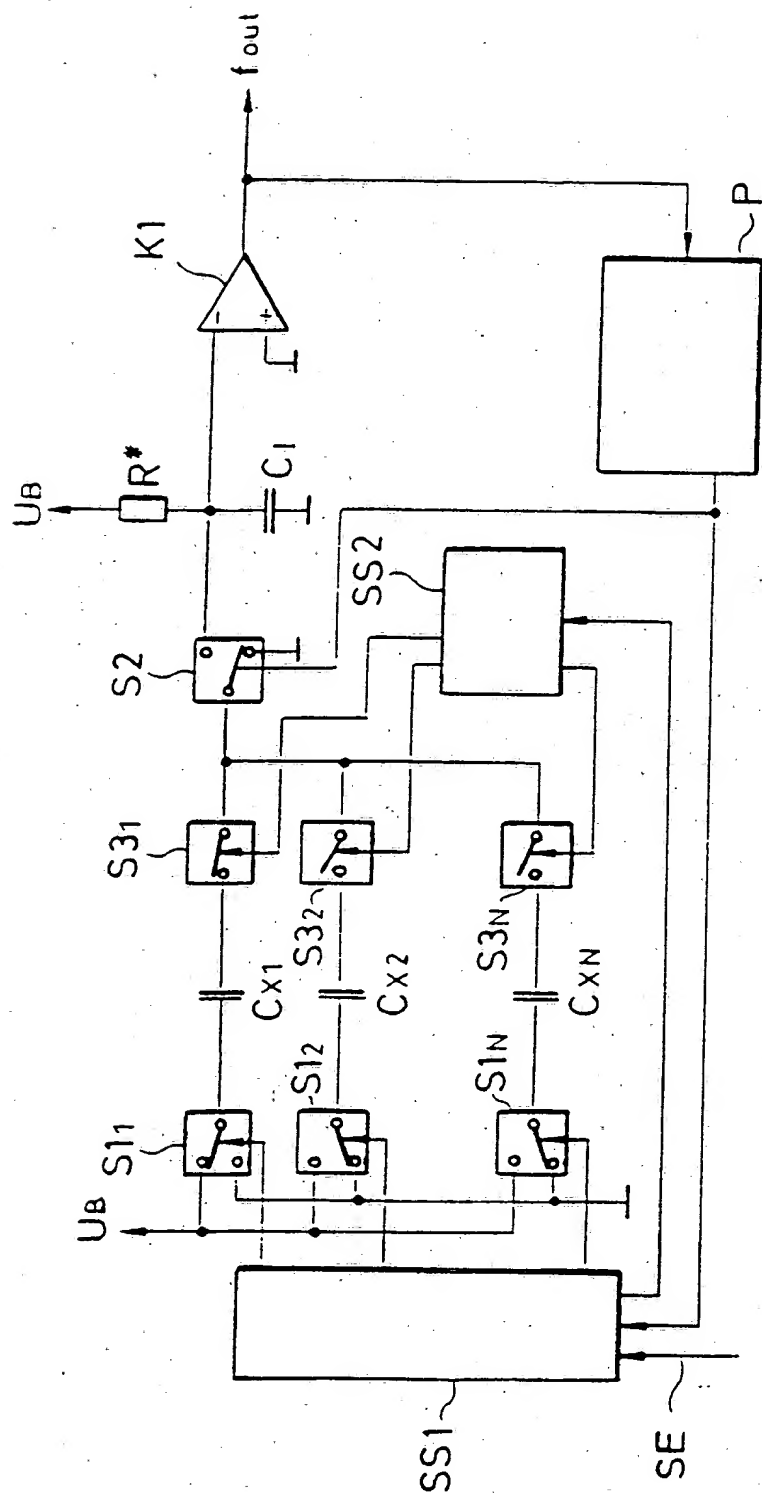


FIG. 3

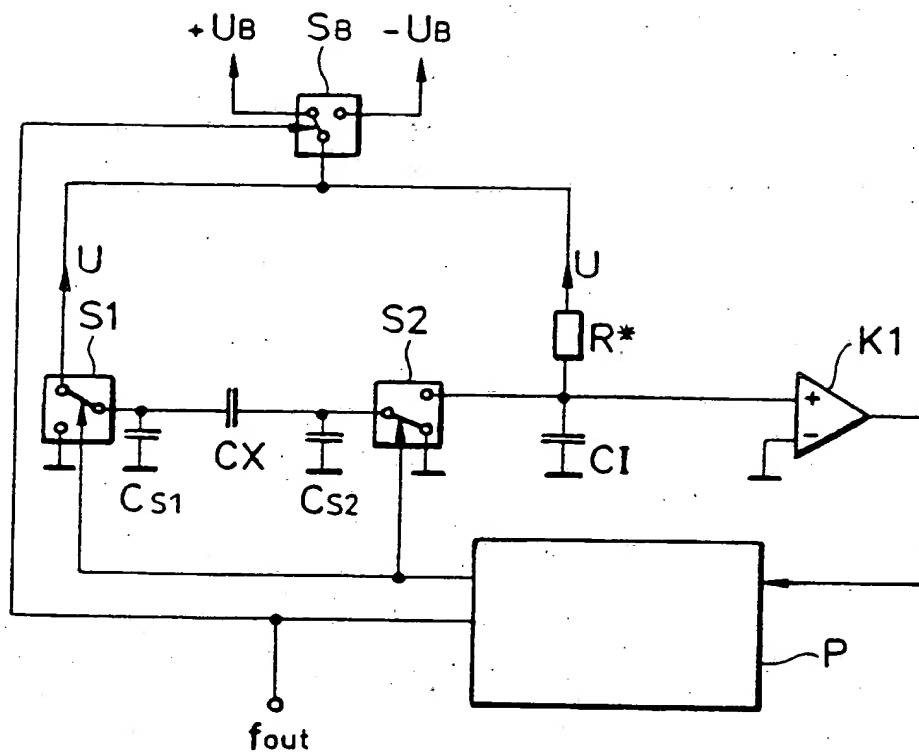


FIG. 4

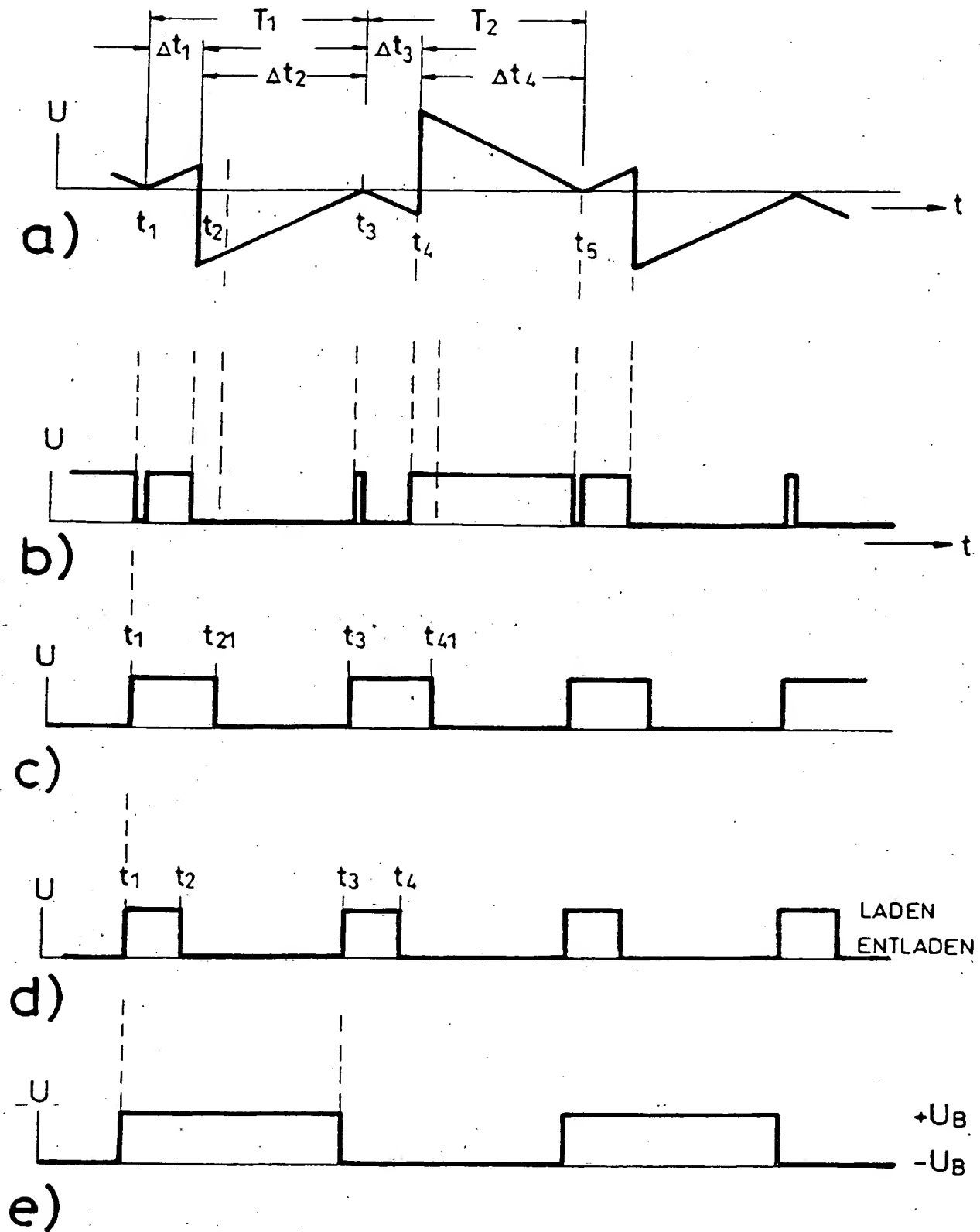


FIG.5

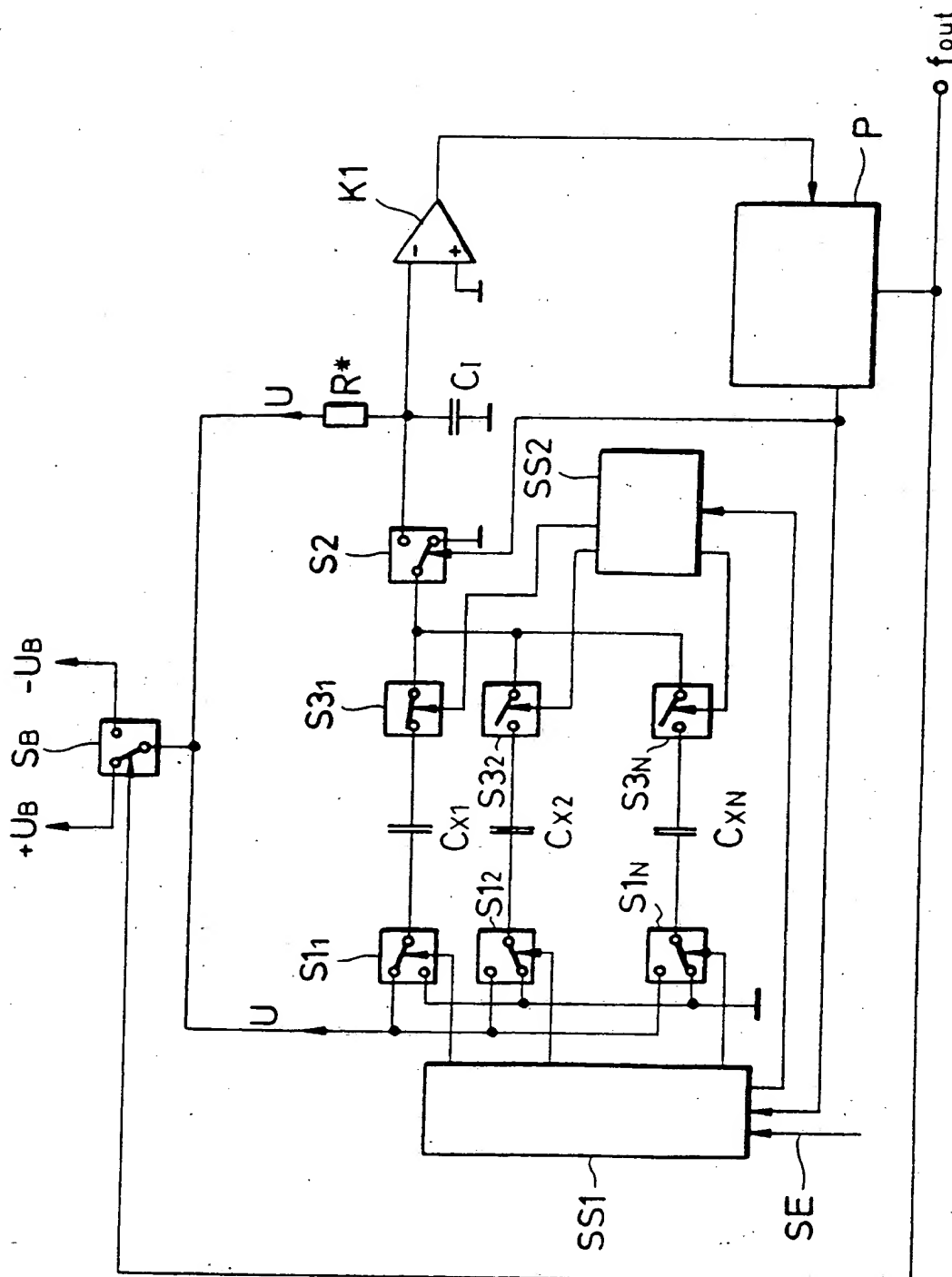


FIG.6